

УДК 004.942

И.Г. Боровской, Я.В. Костелей

Прогнозная модель финансовых рядов на основе кусочно-линейной аппроксимации

Рассматривается проблема построения модели для оценки тенденции изменения цены на фондовом рынке. Предложен инструмент, позволяющий производить на основе кусочно-линейной аппроксимации формирование трендовой модели, удобной для детектирования графических формаций технического анализа.

Ключевые слова: прогнозная модель, кусочно-линейная аппроксимация, трендовый анализ, технический анализ, графические формации.

doi: 10.21293/1818-0442-2017-20-2-73-75

Прогнозирование финансовых временных рядов является актуальной проблемой ввиду отсутствия математических, аналитических и статистических методов, позволяющих предсказывать поведение финансового рынка с точной долей вероятности. Финансовый временной ряд – сложная стохастическая динамическая система, механизм формирования значений которой неизвестен, но имеется история ее изменения, которую активно используют в различных методах анализа динамических временных рядов. Условно методы анализа сложных динамических систем можно разделить на статистические, вероятностные, логические, нечеткие, нейросетевые, эвристические методы и методы нелинейной динамики [1]. В рамках анализа финансового рынка выделяют фундаментальный анализ, оценивающий изменения во временном ряде с точки зрения политической, экономической и финансово-кредитной политики, и технический анализ, предполагающий наличие повторяющихся формаций динамики цен, которые позволяют прогнозировать будущие изменения рынка [2].

При формировании инвестиционных стратегий важным является определение направления динамики цены: продолжение движения или возникновение точки разворота цены. С позиции технического анализа предполагается, что при появлении определенной графической модели на графике изменения цены можно сделать предположение о том, возникнет ли точка разворота в текущем моменте времени или на каком временном промежутке цена продолжит двигаться в том же направлении. Графические формации представляют последовательность трендов, которые удовлетворяют определенным условиям по взаимному расположению и пропорциональному отношению их длины [3]. Примерами графических моделей могут выступать фигуры «голова-плечи», «двойная» и «тройная вершина», «шип», «алмаз», «блюдце Мерфи» и др. (рис. 1). В качестве тренда принимается основная тенденция движения цены в зависимости от анализируемого временного периода.

При этом предполагается, что на рынке существуют как трейдеры, которые информированы о текущем направлении цены, так и те, кто действует вразрез тенденции и создает шумовую составляющую

временного ряда, что усложняет выявление трендовых составляющих финансового ряда [2].



Рис. 1. Примеры графических формаций технического анализа

Ввиду данных факторов возникает необходимость определения методов, позволяющих идентифицировать кратковременные тенденции финансового ряда, на основе которых возможно установить возникновение графической формации в реальном времени. Для решения данной задачи трейдеры используют множество различных методов, которые можно разделить на методы укрупнения интервалов (например, «зиг-заг»), методы сглаживания ряда динамики (метод скользящей средней) и аналитическое выравнивание (аппроксимация) [4].

В данной работе рассматривается применение метода аналитического выравнивания – кусочно-линейной аппроксимации – для построения модели финансового временного ряда.

Метод наименьших квадратов

Одним из наиболее часто используемых методов обработки динамических временных рядов для исключения случайных колебаний и выявления тренда является выравнивание уровней ряда с помощью аппроксимации. Сутью аналитического выравнивания является сопоставление для эмпирических значений ряда y_i соответствующих теоретических значений \hat{y}_i , которые рассчитываются по выбранному виду уравнения $f(t)$ [5]. При этом каждый эмпирический уровень можно представить как сумму двух элементов:

$$y_i = f(t) + \varepsilon_I, \quad (1)$$

где $f(t) = \hat{y}_i$ – составляющая, отражающая тренд и выраженная аналитической формулой; ε_I – случайная величина, определяющая шумовую составляющую.

Для определения графических формаций интерес представляет определение локальных экстремумов, характеризующих точки разворота, и направления движения тренда между локальным минимумом и максимумом [5]. Для выявления данных параметров достаточно простейшей линейной функции, заданной управлением:

$$\hat{y}_i = a_0 + a_1 t, \quad (2)$$

где t – время, обозначаемое номером пункта; a_0, a_1 – параметры аналитической функции.

Данную задачу можно решить методом наименьших квадратов. Сутью метода наименьших квадратов является определение на основе эмпирических данных временного ряда y_i таких параметров заданной аналитической функции \hat{y}_i , что сумма квадратов разностей между аналитическими и эмпирическими данными будет минимальна (3).

$$F(a) = \sum_{i=0}^{n-1} (y_i - (a_0 + a_1 t))^2, \quad (3)$$

где n – число экспериментальных точек.

Для нахождения минимального значения отклонений выражения (3) необходимо взять частные производные по параметрам a_0, a_1 . При упрощении полученной системы уравнений можно получить следующие формулы определения коэффициентов:

$$\left\{ \begin{array}{l} a_0 = \frac{n \sum_{i=0}^{n-1} t_i y_i - \sum_{i=0}^{n-1} t_i \sum_{i=0}^{n-1} y_i}{n \sum_{i=0}^{n-1} t_i^2 - (\sum_{i=0}^{n-1} t_i)^2}, \\ a_1 = \frac{n \sum_{i=0}^{n-1} y_i - a_0 \sum_{i=0}^{n-1} t_i}{n}. \end{array} \right. \quad (4)$$

Разделение областей единичного тренда по среднеквадратичному отклонению

Из определения понятия тренда следует, что для того, чтобы аналитическая функция \hat{y}_i адекватно описывала временной промежуток, отклонение эмпирических значений от теоретических не должно выходить за определенный диапазон значений. Это очевидно из того, что чем больше допускается данное отклонение, тем более усредненные значения будет иметь аналитическая функция. Ввиду этого данный алгоритм кусочно-линейной аппроксимации заключается в следующем. При поступлении нового значения ряда текущая область аппроксимации дополняется данным значением, при превышении среднеквадратичного отклонения аппроксимации σ от заданного уровня ε фиксируется тренд, а область аппроксимации сужается до последних трех точек.

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=0}^{n-1} (y_i - (a_0 + a_1 t))^2}, \sigma \leq \varepsilon. \quad (5)$$

В качестве другого порогового значения можно использовать остаточную сумму квадратов отклонения наблюдаемых значений.

В результате получается набор трендовых линий, разделяющих область интервала и не соединенных между собой (рис. 2).

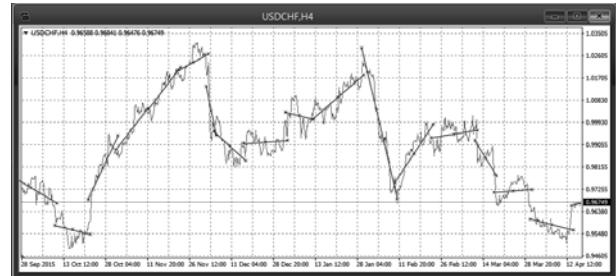


Рис. 2. Этап кусочно-линейной аппроксимации котировки «USDCHF» во временном периоде «H4»

Сглаживание трендовой модели

Для получения непрерывной трендовой модели определен механизм сглаживания, который рассматривает два случая. Первый (рис. 3, *а*) – когда в области интервала двух последовательно идущих трендов существует точка их пересечения, в этом случае, концы трендов переносятся в данную точку. Во втором случае (рис. 3, *б*), когда в области интервала тренды не пересекаются, концы трендов переносятся в точку пересечения диагоналей трапеции, полученной путем опускания перпендикуляров из граничной точки тренда на соседний тренд.

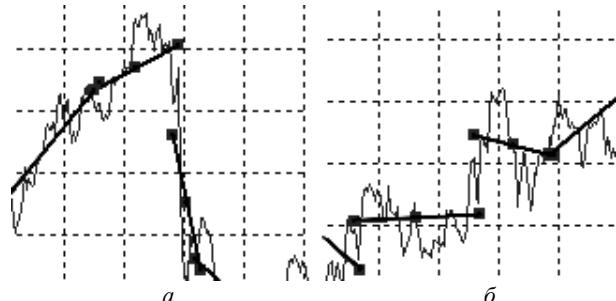


Рис. 3. Пример разрыва между двумя трендами: при наличии пересечения в области интервала – *а*; при пересечении в области интервала – *б*

В результате получается трендовая модель, состоящая из последовательно соединенных трендов (рис. 4).

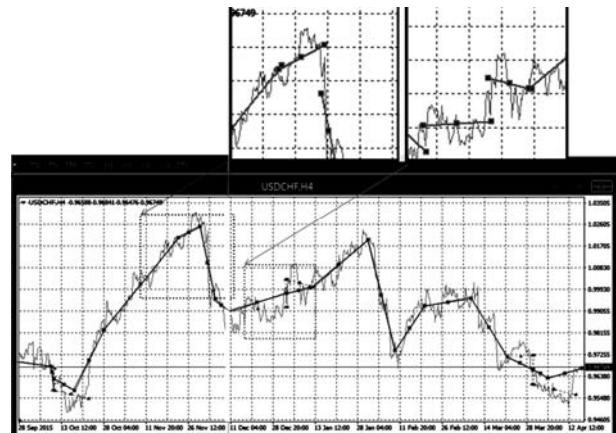


Рис. 4. Этап сглаживания трендовой модели котировки «USDCHF» во временном периоде «H4»

Замена односторонних трендов

Графические формации технического анализа состоят из разнонаправленных трендов, что требует для полученной модели заменить последовательно идущие тренды, заданные одним направлением, на один базовый тренд. Для линейной функции положительный коэффициент наклона прямой a_1 определяет возрастающий тренд, а отрицательный – убывающий. Поэтому в рамках данного алгоритма достаточно сравнить направления текущего и предыдущего анализируемых трендов и при необходимости объединить их.

В результате получается трендовая модель, которую можно использовать для поиска графических формаций технического анализа (рис. 5).

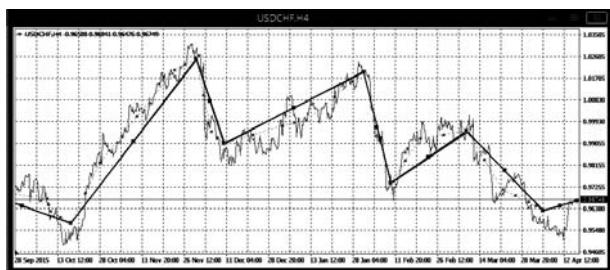


Рис. 5. Этап объединения односторонних трендов котировок «USDCHF» во временном периоде «Н4»

Исключение трендов с низким удельным весом и автоматическая корректировка порогового значения среднеквадратичного отклонения

Полученный алгоритм имеет один параметр управления степенью усреднения модели – пороговое значение среднеквадратичного отклонения. При задании небольшого значения данного параметра может возникнуть ситуация, что тренд, полученный на этапе кусочно-линейной аппроксимации, будет состоять из менее 5 точек, что не несет информативной составляющей текущей тенденции. Также такая ситуация может возникнуть при увеличении динамики поведения рынка (увеличение разброса цен). Поэтому было решено в автоматическом режиме увеличивать пороговое значение среднеквадратичного отклонения при получении тренда, состоящего из менее 5 пунктов. Если же увеличение порогового значения не компенсировало увеличение динамики поведения рынка (возник значительный провал) и образовался тренд с низким удельным весом (относительно соседних трендов) после всех этапов обработки, он исключается, а граничная точка текущего тренда переносится в точку окончания исключённого тренда.

Результаты, перспективы исследования и проблемы оценивания результатов

В работе произведена реализация полученных алгоритмов в программном модуле, реализованном на языке C++ в среде кроссплатформенной разработки QT, позволяющей использовать данный модуль в качестве динамической библиотеки в платформе MetaTrader.

При оценке адекватности получаемых в результате работы алгоритмов трендовых моделей возник-

ла следующая концептуальная проблема. Методы технического анализа в области определения тенденции временного ряда не основываются на рабочих математических методах, имеющих оценочные параметры, а анализ эксперта-трейдера имеет субъективную природу. Поэтому в дальнейшем планируется провести следующий эксперимент: провести анализ нескольких финансовых рядов двумя экспертами и полученным алгоритмом. Это позволит установить трендовую модель, полученную одним из экспертов, как ожидаемую и оценить процент ошибок второго эксперта и алгоритма относительно ожидаемых результатов.

Также определена задача формализации структуры графических формаций технического анализа и алгоритмическая и программная реализация их идентификации на основе данной модели.

Литература

- Букреев В.Г. Выявление закономерностей во временных рядах в задачах распознавания состояний динамических объектов / В.Г. Букреев, С.И. Колесникова, А.Е. Янковская. – Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2011. – 254 с.
- Саркисян А.К. Исследование состоятельности методов технического анализа на примере исторических данных индекса ММВБ // Пространство экономики (Ростов-на-Дону). – 2012. – Т. 10, № 2, ч. 2. – С. 111–114.
- Ромм Я.Е. Выделение трендов и определение точек разворота тенденции рынков на основе схем сортировки / Я.Е. Ромм, А.И. Тренкеншу // Изв. ЮФУ. Технические науки (Таганрог). – 2012. – Т. 136, № 11. – С. 237–244.
- Скворцов В.В. Методы изучения тенденции временных рядов в эконометрических исследованиях // Социально-экономические явления и процессы (Тамбов). – 2008. – Т. 10, № 2. – С. 75–78.
- Агафонова Н.П. Применение метода наименьших квадратов для определения кривых спроса и предложения и состояния рыночного равновесия / Н.П. Агафонова, Н.В. Орехова, С.В. Мелешко // Современные научно-исследовательские технологии (Пенза). – 2014. – № 5, ч. 2. – С. 136–138

Боровской Игорь Георгиевич

Д-р физ.-мат. наук, профессор каф. экономической математики, информатики и статистики (ЭМИС) ТУСУРа
Тел.: +7 (382-2) 90-01-85, внутн.: 2819
Эл. почта: igor.g.borovskoi@tusur.ru

Костелей Яна Валерьевна

Студентка каф. ЭМИС ТУСУРа
Тел.: +7-952-175-58-79
Эл. почта: yana@diagnostic.tom.ru

Borovskoy I.G., Kosteley Y.V.

Use of piecewise-linear approximation to identify trends in the financial market

The paper considers the problem of constructing the model for estimating price changing trend in the stock market. A tool is proposed that makes possible, with the help of piecewise-linear approximation, to form trend model that is convenient for detecting graphic formations of technical analysis.

Keywords: piecewise-linear approximation, trend analysis, technical analysis, graphic formations, trader patterns.